

文章编号: 1671-5896(2008)02-0147-05

TMS320DM642 对视频图像欠采样压缩处理的实现

李洪霞¹, 潘伟², 迟学芬¹, 吴伟刚¹

(1. 吉林大学通信工程学院, 长春 130012; 2. 海南大学信息科学技术学院, 海口 570228)

摘要: 通常采用降采样完成实时视频格式调整。在降采样过程中不可避免地会引入欠采样噪声。为此提出了 TMS320DM642 上欠采样噪声的处理算法, 实现了在 TMS320DM642 上实时欠采样噪声处理, 描述了该程序的优化。其可以支持从 CIF (Common Intermediate Format) 到 SQCIF (Sub-Quarter Common Intermediate Format) 的实时视频格式调整。实验结果表明, 在网络传输带宽波动时, 该方法可有效减小混叠, 图像质量清晰流畅。

关键词: 视频图像压缩; 欠采样噪声; TMS320DM642; 快速傅立叶变换; 降采样

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Implement of Sub-Sampling Compression Process Procedure for Video Image Based on TMS320DM642

LI Hong-xia¹, PAN Wei², CHI Xue-fen¹, WU Wei-gang¹

(1. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China;

2. College of Information Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: To multimedia communication based on TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) protocol, variable video format is one of the important ways to reduce bandwidth variation. Generally, the implement of video format conversion is done through downsampling. Minifying digital images used downsampling introduces aliasing noise. This paper proposes a process algorithm based on TMS320DM642 to reduce aliasing noise, real time aliasing noise process is implemented using TMS320DM642, the process program optimization method is described also. The program supports real video format adjustment from CIF (Common Intermediate Format) to SQCIF (Sub-Quarter Common Intermediate Format). The test result indicates that this method can be used to reduce aliasing noise, and the display of images is clear and fluent.

Key words: video image compression; aliasing noise; TMS320DM642; fast fourier transform (FFT); down-sampling

引 言

随着因特网在全球范围的日益普及, 网络传输及各种新兴多媒体业务的出现, 如视频会议、可视电话、高清晰度电视、视频点播、视频检索、数字图书馆、远程医疗以及视频监控等, 都向视频/图像传输提出了新的要求。对于基于 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 协议的多媒体通信, 可变视频格式是抗带宽波动的重要方法之一。即当网络拥挤时, 网络不能提供足够的带宽, 为保证视频顺畅, 可在发送端减小视频图像规格, 把大格式图像变为小格式图像, 如将 CIF (Common Intermediate Format) 格式图像变为 SQCIF (Sub-Quarter Common Intermediate Format) 格式图像以减小传送的数据量。但是, 如果直接缩小大格式图像 (进行降采样即隔点抽样), 则必然降低了采样频率, 使其远离

收稿日期: 2007-09-14

作者简介: 李洪霞 (1962—), 女, 吉林敦化人, 吉林大学副教授, 主要从事通信技术应用的研究, (Tel) 86-431-85152013 (E-mail) li-hongxial@tom.com; 迟学芬 (1962—), 女, 长春人, 吉林大学教授, 硕士生导师, 主要从事宽带通信研究, (Tel) 86-13504434368 (E-mail) chixuefen@sina.com。

奈奎斯特频率, 这样会造成严重的频谱混叠, 大大提高了欠采样噪声^[1]。欠采样噪声产生分布于整个画面的小尺度附加图像, 严重影响视频图像质量^[2]。

为消除混叠, 可采用低通滤波器滤掉视频图像频谱的高频成分, 使采样频率高于信号最高频率的两倍。在图像中灰度发生突变的部分是图像的高频成分, 灰度变化平缓的部分是低频成分。通常图像中如边缘和噪声等是灰度突变的高频分量, 只占图像总体的少部分, 而更多的是灰度变换平滑的低频分量。因此使用低通滤波器在频域对这些高频成分的抑制, 可达到消除空域中图像的噪声或对图像的边缘进行平滑模糊处理的目的。但是由于低通滤波器对噪声等寄生成分滤出的同时, 也滤出有用的高频成分, 因此, 这种去除噪声的美化处理是以牺牲清晰度为代价的。此方法是当网络拥挤时, 为保证视频流畅而采取的方法。

在频域, 用低通滤波器滤掉视频图像频谱的高频成分的过程中, 由于切除高频时, 在切痕处频谱幅度迅速衰减为零, 会带来振铃效应(吉布斯振荡), 产生振铃噪声^[3]。这是理想低通滤波器不可避免的。所以必须进行平滑, 使频谱缓慢下降, 在切痕处降为零。

1 图像处理过程

笔者采用平滑效果较好的 3 次卷积插值函数^[4]进行平滑。其空间域一维形式为

$$u(x) = \begin{cases} \frac{3}{2\Delta x} \left| \frac{x}{\Delta x} \right|^3 - \frac{5}{2\Delta x} \left| \frac{x}{\Delta x} \right|^2 + \frac{1}{\Delta x}, & 0 \leq |x| < \Delta x \\ -\frac{1}{2\Delta x} \left| \frac{x}{\Delta x} \right|^3 + \frac{5}{2\Delta x} \left| \frac{x}{\Delta x} \right|^2 - \frac{4}{\Delta x} \left| \frac{x}{\Delta x} \right| + \frac{2}{\Delta x}, & \Delta x \leq |x| < 2\Delta x \\ 0, & 2\Delta x \leq |x| \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 x 为采样空间, Δx 为采样间隔。

二维 3 次卷积函数可通过一维函数得到

$$u(x, y) = u(x)u(y) \quad (2)$$

将式(2)进行傅立叶变换即可得到二维 3 次卷积插值的频谱 $H(u, v)$ 。

图像处理过程如图 1 和图 2 所示。

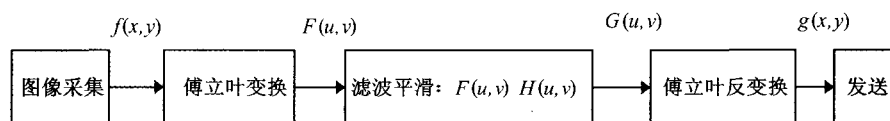


图 1 源端图像处理过程

Fig. 1 Procedure of image processing on sender

图 1 中, $F(u, v)$ 是原始图像 $f(x, y)$ 的傅立叶变换, $H(u, v)$ 为低通滤波器的传递函数, 即式(2)的傅立叶变换。经过滤波处理后的 $G(u, v) = F(u, v)H(u, v)$, 再经过傅立叶反变换得到空间域图像 $g(x, y)$ 。此图像是滤掉频谱的高频部分, 并经过平滑处理后的缩小图像。

TMS320DM642 是基于 TI 的第 2 代高性能、先进的超长指令字 (VLIW: Very Long Instruction Word) 结构构建的。是数字多媒体应用的最佳选择^[5]。作者利用 TI 公司的 TMS320DM642 实时图像处理平台^[6]将视频口采集的空间域 CIF 格式图像进行傅立叶变换变到频谱域, 对其进行滤波和平滑处理, 再经傅立叶反变换得到缩小的空间域 SQCIF 格式图像。该图像经过 H. 263 压缩后送到互联网传送 (见图 1)。到达目的地后, 经 H. 263 解压缩, 再进行插值放大, 得到 CIF 格式即原图像格式的图像^[7] (见图 2)。

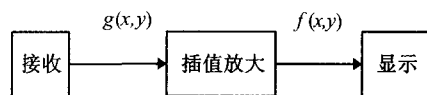


图 2 目的端图像处理过程

Fig. 2 Procedure of image processing on receiver

2 图像程序设计

一帧图像的数据为二维矩阵数组。具体图像的数据处理程序流程图(见图3),应包括如下内容。

1) 从摄像头采集标准 CIF 格式(352×288)图像,其为 char 型图像数组。

2) 为便于快速傅立叶变换,把 352×288 的 CIF 格式图像裁成 256×256 图像,再将其扩充成 256×256 的复数型矩阵,复数由整型的实部和整型的虚部组成^[8]。

3) 进行二维 FFT (Fast Fourier Transform) 变换,先逐行进行 256 点一维行变换,对所得矩阵进行转置,再逐列进行 256 点一维列变换,使图像从空域变到频域。

4) 在频域,图像的高频在频谱图的中心,低频在边缘,因此,滤波只保留 256×256 点频谱的四角(低频部分),其余部分丢掉(见图4)。

5) 把留下的图4的四角合并组成 128×128 点的频谱(见图5)。

6) 把频谱乘以 128×128 点的平滑矩阵 $H(u, v)$ 进行平滑。

7) 进行二维逆 FFT 变换。先逐行进行 128 点一维行逆变换,所得矩阵进行转置,再逐列进行 128 点一维列逆变换,使图像从频域变到空域。

8) 取变换后的 128×128 图像的 128×96 图像,之后取实部(虚部数据很小),并变成 char 型矩阵,即变成标准 SQCIF 图像;其数据量是原来的 1/9。

9) 经 H. 263 压缩后通过网络传输到对端,再经 H. 263 解压缩并插值放大成 CIF 格式图像。

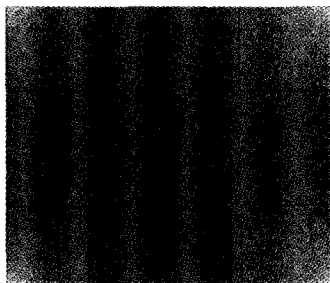


图4 低频部分在频谱图的四角

Fig. 4 Lower frequency part at the four corners of image spectrum

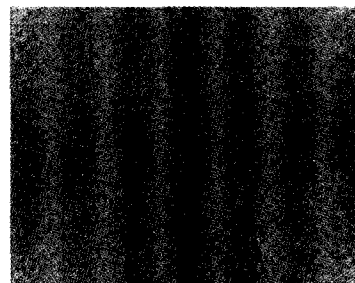


图5 低频部分重新组合成 128×128 频谱

Fig. 5 Lower frequency part reassembling to a 128×128 image spectrum

2) ~8) 是对像素点亮度信号处理的过程,色度信号的处理相对简单。相应地把 352×288 的 CIF 格式图像裁成 256×256 图像,直接进行 1/2 降采样,变成 128×128 的图像,再相应切成 128×96 的图像,与亮度信号部分一起进入 9)。

3 利用 DM642 实现 FFT 程序的优化

由于视频要求每秒发出 25 帧图像,因此一帧图像的处理时间要小于 40 ms。最初在调用 TI 公司的 C6400 的快速傅立叶变换库函数的情况下,用 C 编程处理一帧图像的时间也超过了 4 s,这远不能满足小于 40 ms 的要求。因此需要对程序进行优化。对程序具体优化的位置及方法如下^[9,10]。

1) 将视频接口采集的 unsigned char 型数据扩成 int 型的实部和虚部时采用 TI 公司提供的 C6400 内联指令^[11]。该指令是汇编级指令,速度比 C 语句快。但只是将虚部清零时使用,实部 char 型数据转换成 int 型时使用速度并没加快。

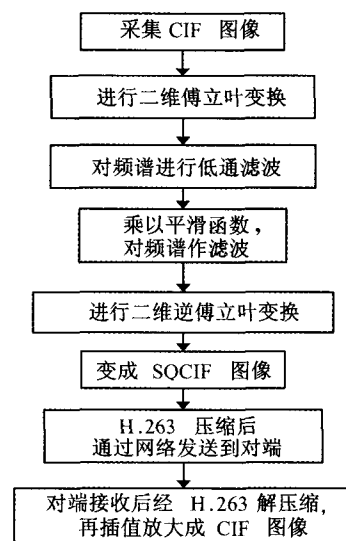


图3 消除欠采样噪声流程图
Fig. 3 Flow chart of reduce aliasing noise

```
pWork1.real = m_dbFrameBuffer.y[j + i * 352]; //unsigned char 型数据扩成 int 型实部
.amem4(&(pWork1.img)) = 0; //用内联指令将虚部填零
其中 pWork1 是复数指针, pWork1.real 指向实部, pWork1.img 指向虚部。
```

2) FFT 变换采用 TI 公司的 C6400 的快速傅立叶变换库函数 DSP_fft16x32 ()^[12]。该函数已经过手工优化,效率高。行 FFT 变换后需将变换后的数组进行转置,再进行列变换。由于 TMSDM642 是 64 位总线,有 64 位数据传送汇编指令,执行该指令速度快。因此笔者采用 64 位内联指令进行转置^[13]。

```
.amemd8 (&T [j * 256 + i]) = .amemd8 (&F [i * 256 + j]);
.amemd8 (&T [(j + 64) * 256 + i]) = .amemd8 (&F [i * 256 + j + 192]);
```

其中 F 和 T 分别是变换前和变换后的图像矩阵。

3) 将变换后的矩阵切割,去掉高频成分组成 128×128 的矩阵过程也是数据搬移过程采用转置用的内联指令,且由于高频部分在中间区域,这部分是要切掉的,所以在列变换时,该区域不必进行列变换。

4) 对式(2)平滑函数 $u(x,y)$ 进行 FFT 变换,变成频域形式,再根据待处理图像的分辨率大小进行抽样。本文中为 128×128 点,使之转化成一個和待处理图像大小一致的平滑矩阵 $H(u,v)$,将此矩阵与待处理图像对应点相乘后即得到平滑后的图像。 $u(x,y)$ 到 $H(u,v)$ 是通过 Matlab 软件得到的^[14],再将 $H(u,v)$ 视为常数存到 DSP (Digital Signal Processing) 存储器中。它与 FFT 变换后的频域图像矩阵相乘采用 TI 公司的 C6400 的 DSP_mul32 () 函数^[12]。

通过对图 6a,图 6b,图 6d 图像比较可以发现,图 6b 是直接对图 6a 以 50% 缩小图(即进行降采样处理),再进行插值放大的 CIF 图像;图像边缘处锯齿严重,连续性很差,欠采样噪声严重,人眼很难接受。如图 6b 上半部的灰色背景部分,原图像中只有竖条纹,而图 6b 中出现了横竖交叉、深浅交替的条纹,这就是典型的混叠噪声,即欠采样噪声。这是由于降采样后采样频率大大降低,远小于标准奈奎斯特频率,导致更多的频谱混叠,造成严重的欠采样噪声。图 6c 是对图 6a CIF 图像经过低通滤波和平滑处理后的 SQCIF 图像。图 6d 是对图 6c 最近邻插值放大得到的 CIF 格式的图像^[15]。图 6d 与图 6b 比

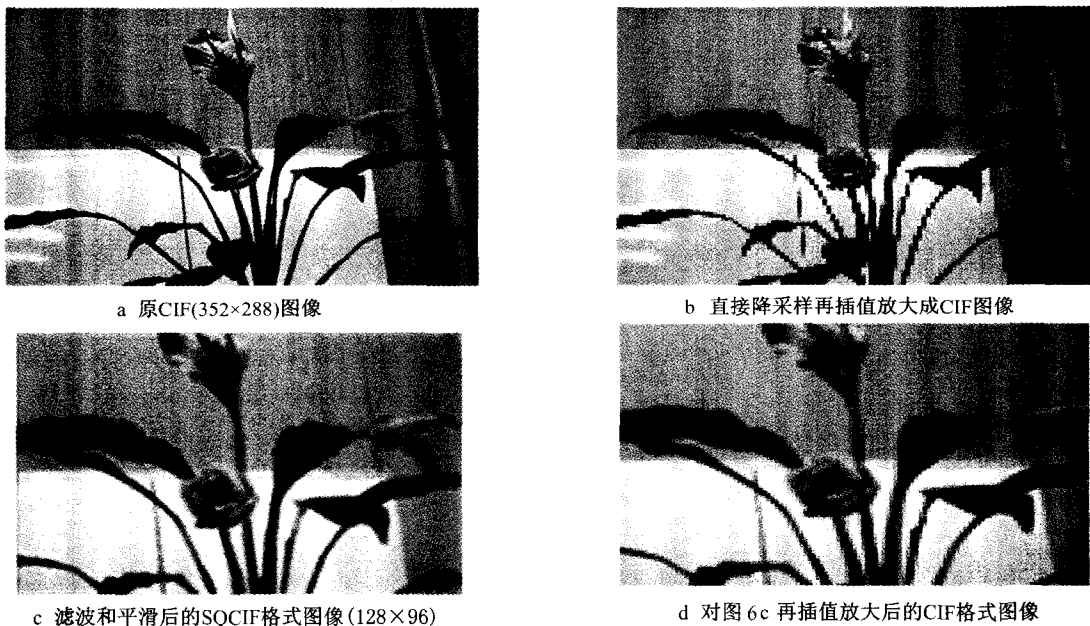


图 6 低频部分在频谱图的四角

Fig. 6 Lower frequency part at the four corners of image spectrum

较,虽然由于滤除了描述细节的高频分量而显得稍微模糊,但图像欠采样噪声大大减小,图像整体平滑、连续,使人眼更为舒服,与原图像更为接近。这是因为图像经过 FFT 变换在频域滤掉高频后,使图像的频域带宽大大降低,减小了频谱混叠,从而降低了欠采样噪声。

经过上述图像比较分析得出如下结论:

- 1) 在变换图像格式时,不能直接对图像进行降采样,否则会产生严重的欠采样噪声;
- 2) 可通过如下方法在减小图像格式时尽量降低欠采样噪声:把空域图像进行 FFT 变换到频域;进行低通滤波,去除高频分量,并利用平滑函数进行适当平滑;进行 FFT 逆变换,还原成空域小格式图像;用插值算法进行插值放大成原图像大小的图像。

4 结 语

在数字图像中,相对于高频信息,人眼对低频信息更为敏感。如果去除了高频信息,只是一些细节丢失,如边缘变模糊,而对图像的整体效果影响并不大。笔者采取把图像通过低通滤波,滤除高频分量,降低信号带宽的方法,从而达到减小频谱混叠,降低欠采样噪声的目的。但这种去除噪声的美化处理是以牺牲清晰度为代价的。当网络带宽资源受限时,可以用此方法进行清晰度稍有下降的图像传送。

参考文献:

- [1] 迟学芬. 采样成像系统中的欠采样噪声分析 [J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2002, 20 (1): 26-29.
CHI Xue-fen. Analysis of Aliasing Noise in Sampled-Imaging System [J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2002, 20 (1): 26-29.
- [2] 迟学芬, 韩昌元, 易志栋. 欠采样噪声分析与光电一体化设计 [J]. 光电工程, 2003 (2): 56-59.
CHI Xue-fen, HAN Chang-yuan, YI Zhi-dong. Undersampled Noise Analysis and Integral Electro-Optical Design [J]. Opto-Electronic Engineering, 2003 (2): 56-59.
- [3] 张若岚, 刘劲松. 图像信号的频域理解 [J]. 电视技术, 2002 (3): 13-16.
ZHANG Ruo-lan, LIU Jin-song. Interpretation of Images in Frequency Domain [J]. TV Engineering, 2002 (3): 13-16.
- [4] ZHANG Hai-tao, ZHAO Da-zun, GONG Ma-li. Aliasing in Minification of Digital Images [J]. Optical Engineering, 2001, 40 (11): 2540-2545.
- [5] TEXAS INSTRUMENTS. TMS320DM642 Video/Imaging Fixed-Point Digital Signal Processor-Data Manual [EB/OL]. (2007-02-20). <http://www.dspvillage.com>.
- [6] SPECTRUM DIGITAL INC. TMS320DM642 Evaluation Module with TVP Video Decoders Technical Reference [EB/OL]. (2007-04-30). <http://www.dspvillage.com>.
- [7] 王亚辉, 迟学芬, 周仁贵, 等. 嵌入式实时视频通信系统设计与关键技术研究 [J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2006, 24 (3): 241-246.
WANG Ya-hui, CHI Xue-fen, ZHOU Ren-gui, et al. Key Technology Study and Design of Embedded Real-Time Video Communication System [J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2006, 24 (3): 241-246.
- [8] 韩彦中. 数字图像 FFT 算法及编程的探讨 [J]. 红外技术, 2003 (3): 27-29.
HAN Yan-zhong. On FFT Algorithm and Programme of Digital Image [J]. Infrared Technology, 2003 (3): 27-29.
- [9] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TMS320C6000 Optimizing C Compiler Tutorial [EB/OL]. (2007-03-25). <http://www.dspvillage.com>.
- [10] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TMS320C6000 Optimizing Compiler User's Guide [EB/OL]. (2007-06-15). <http://www.dspvillage.com>.
- [11] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TMS320C6000 Programmer's Guide [EB/OL]. (2007-05-05). <http://www.dspvillage.com>.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TMS320CC64x DSP Library Programmer's Reference [EB/OL]. (2007-05-25). <http://www.dspvillage.com>.
- [13] 李芳慧. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
LI Fang-hui. TMS320C6000 Series DSPs Theories and Applications [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [14] 陈桂明, 张明照. 应用 MATLAB 语言处理数字信号与数字图像 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
CHEN Gui-ming, ZHANG Ming-zhao. Applying MATLAB Language to Process Digital Signal and Image [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000.
- [15] 杨烜, 裴继红, 谢维信. 图像插值方法对互信息局部极值的影响分析 [J]. 电子与信息学报, 2006 (10): 1782-1785.
YANG Xuan, PEI Ji-hong, XIE Wei-xin. Study on Local Maxima Problem of Mutual Information in Different Resolution Images Registration [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006 (10): 1782-1785. (Ed.: L)